

Rola badań czynności krtani w identyfikacji mówców

Kryminalistyczna identyfikacja mówców opiera się na analizie osobniczych zespołów cech i parametrów, ekstrahowanych z wypowiedzi dowodowych i porównawczych. Indywidualność procesów myślowych, złożoność systemu komunikacji językowej i skomplikowana budowa oraz czynności struktur anatomicznych zaangażowanych w mówienie – od krtani po ośrodkowy układ nerwowy – implikują odmienności mowy. Poszczególnych mówców cechuje inny sposób formułowania wypowiedzi i swoiste wartości parametrów fizycznych informacji lingwistycznej. Ale nawet ta sama osoba nie mówi zawsze tak samo, gdyż wiele czynników kształtuje jej chwilowy stan psychofizyczny, przekładający się na – choćby nieznacznie – wahania cech i parametrów mowy. Ta zmienność przedmiotu badań wymaga od eksperta fonoskopii między innymi oceny symptomów fizjologicznych i patologii poszczególnych narządów.

Jednym z narządów zaangażowanych w mówienie jest krtąń. W niej dokonuje się proces fonacji, czyli wytworzenia głosu. Skutkiem vibracji struktur krtani jest wygenerowany ton krtaniowy, w niczym nie przypominający mowy ludzkiej. Przetworzenie tonu krtaniowego na głoski mowy wymaga wzmocnienia/osłabienia jego składowych w rezonatorach nadkrtaniowych. Dopiero po przejściu przez jamy nasady – gardłową, ustną i nosową – fala dźwiękowa jest percypowana jako głos ludzki/mowa [2].

Każdego człowieka cechuje indywidualność budowy struktur anatomicznych, co przekłada się m.in. na niepowtarzalność mówienia, stanowiącą podstawę badań fonoskopijnych. W identyfikacji mówców prowadzona jest analiza układów forman-

tów (rozkładu energii w poszczególnych częstotliwościach). Ich populacyjna zmienność to wynik subtelnych różnic budowy rezonatorów nadkrtaniowych. Osobniczo zmienne ukształtowanie narządu fonacji również skutkuje zmiennością wytworu, dlatego ekspert kryminalistyki analizuje przejawy pracy krtani. Wykazanie specyfiki fonacji – dokonującej się przeważnie nieświadomie i spontanicznie – służy poparci wniosków wysuniętych na podstawie innych badań prowadzonych w procesie identyfikacji mówców.

Celem artykułu jest analiza wpływu pracy krtani na indywidualność procesu mówienia. Wyboru zagadnień dokonano z uwzględnieniem fizjologii i anatomii narządu, wspomniano także o niektórych symptomach patologii procesu fonacji. Niższe opracowanie tematu jest pierwszym w ponad 40-letniej historii fonoskopii w Polsce.

Budowa i czynność krtani

Szczegółowy opis skomplikowanej budowy anatomicznej i funkcjonowania krtani zawierają liczne opracowania medyczne [2, 4]. Wprowadzenie w tematykę poruszaną w niniejszym artykule wymaga przedstawienia podstawowych zagadnień.

Krtąń ma budowę chrzęstno-włóknisto-mięśniową. Jest podwieszona na kości gnykowej, w spoczynku znajduje się na wysokości piątego kręgu szyjnego. Szkielet krtani tworzy dziewięć chrząstek:

- parzyste: nalewkowate, rozkowate, klinowate,
- nieparzyste: tarczowata, pierścieniowata, nagłośnia.

Chrząstki są połączone między sobą stawowo i więzozrostowo.

Mięśnie krtani czynnościowo tworzą dwie grupy: zewnętrzne i wewnętrzne. Mięśnie zewnętrzne poruszają całą krtanią; mięśnie nadgnykowe unoszą krtani i ciągną do przodu, podgnykowe obniżają, zaś zwieracz gardła dolny podciąga ku tyłowi. Krtani unosi się podczas wdechu czy polykania, natomiast podczas wydechu obniża się. Przy wznawianiu głosek bezdźwięcznych znajduje się wyżej niż przy wydawianiu głosek dźwięcznych. Gdy podniebienie miękkie unosi się, krtani jest pociągana do przodu, do tyłu przesuwana podczas wysuwania języka [5].

Mięśnie wewnętrzne kontrolują wzajemne układy poszczególnych chrząstek krtani (zmiany rozstawu szpary głosni) oraz napięcie i kształt fałdów głosowych; mięśniami napinającymi fałdy głosowe są mięśnie pierścienno-tarczowy i głosowy. Mięsień głosowy wraz z więzadłem głosowym tworzy fałd głosowy – najważniejszą strukturę pod kątem czynności fonacyjnej – parzysty poziomy wyrostek do wnętrza krtani, tworzący jej przewężenie. Przyczepami więzadeł głosowych są: chrząstka tarczowata i wyrostek głosowy chrząstki nalewkowatej. Między więzadłami głosowymi tworzy się otwór-głosnia, którego szerokość ulega zmianom w wyniku ruchów chrząstek nalewkowatych.

Czynność fonacyjna krtani wymaga sprawnego działania płuc (dla wytworzenia podmuchu powietrza wydechowego) i drgających rytmicznie więzadeł głosowych, regulujących rozwarcie głosni. W trakcie wytworzenia tonu krtaniowego fałdy głosowe są zwierane w wyniku przemieszczania się chrząstek krtani pod wpływem właściwych mięśni, natomiast ulegają rozwarciu pod naporem wzrastającej

go podgłośniowego ciśnienia powietrza. Częstość faz zwarcia i rozwarcia wiązań głosowych (zgęszczania i rozrzedzenia słupa powietrza wydechowego) określa wysokość tonu krtaniowego (F_0) [2].

Zmiana F_0 jest warunkowana:
– długością i napięciem fałdów głosowych (skrócony i napięty fałd

głosowy powoduje wytwarzanie wyższego tonu),

– masą i kształtem fałdów głosowych (gdy fałdy są szerokie – powstają tony niskie),

– ciśnieniem podgłośniowym (zależność wprost proporcjonalna do wysokości tonu krtaniowego. Zmiany ciśnienia ujawniają się w przebiegu

wypowiedzi. Zależnie od intonacji i siły wydechu wartość F_0 ulega wahaniom) [2, 6].

Na ogół mężczyźni mają niższy głos z powodu większej krtani, a więc i dłuższych fałdów głosowych [5].

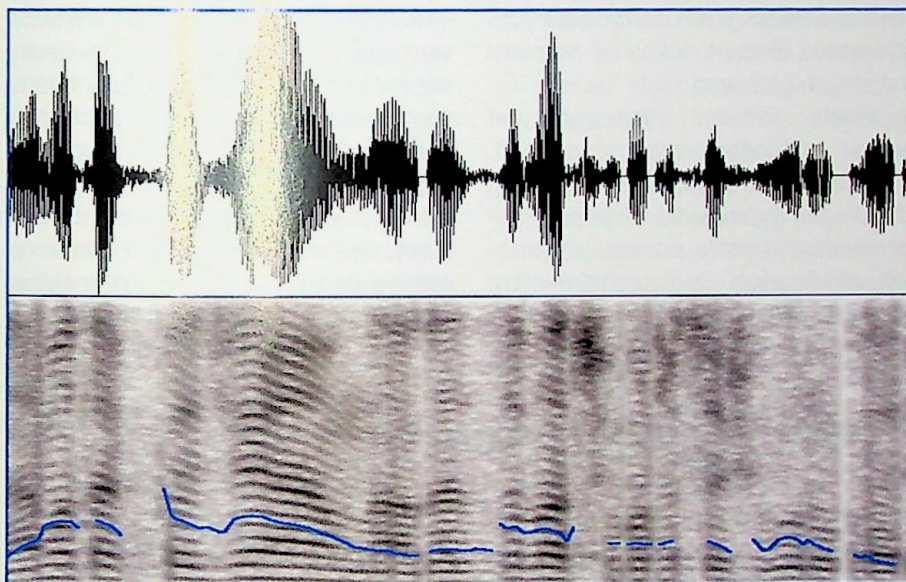
Kryminalistyczna analiza wysokości tonu krtaniowego

Zmienność osobnicza F_0

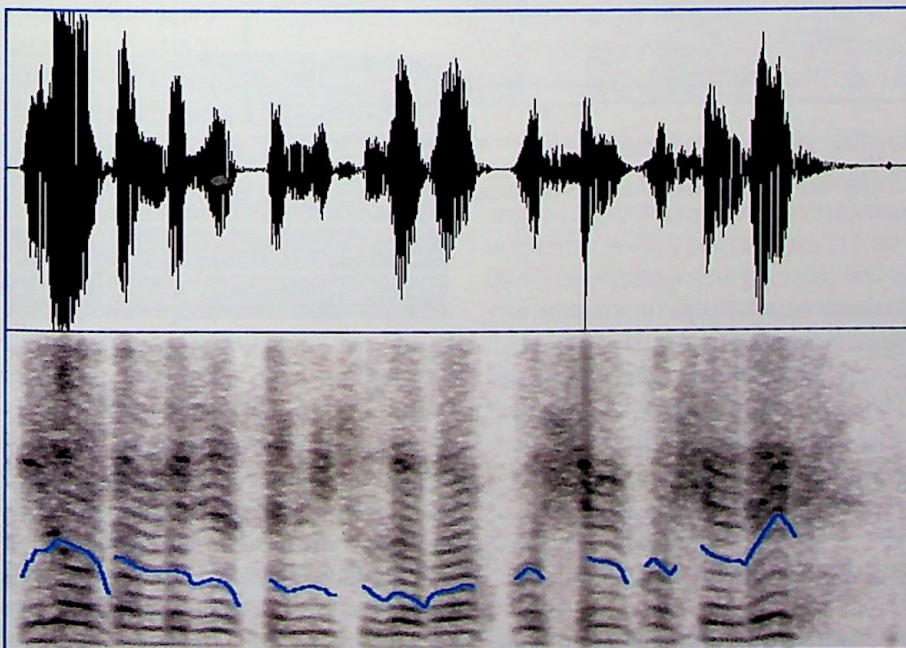
Wynikiem dynamicznych zmian układu chrząstek krtaniowych są zmiany częstotliwości tonu krtaniowego. Wpływ na elastyczność mięśni krtani ma między innymi stopień pobudzenia emocjonalnego (u zdenerwowanego mówcy rośnie napięcie mięśniówki krtani). Wahania wartości parametru F_0 w zależności od stanu psychofizycznego wypowiedzi tego samego mówcy, spokojnego i w stanie wzmożonego napędu psychoruchowego, pokazują przykłady 1 i 2. Niebieska linia wskazuje chwilową wysokość tonu krtaniowego, na widmie widoczne są – jako ciemne prążki – kolejne harmoniczne sygnału.

Mimo niestabilności parametru F_0 istnieją określone ramy, w których mieszczą się wartości zmierzone u konkretnej osoby. Ograniczenie możliwości modulowania wysokości głosu wynika z określonego budową anatomiczną zakresu zmian kształtu wiązań głosowych, a w konsekwencji częstotliwości ich zwierania. Ton krtaniowy tego samego mówcy – zmierzony w różnych wypowiedziach, ale przy podobnym stanie pobudzenia emocjonalnego – zawsze ma zbliżoną wartość (tab. 1).

Porównywanie częstotliwości tonu krtaniowego – wobec licznych fluktuacji – wymaga analogicznych wypowiedzi dowodowych i porównawczych, ze szczególnym uwzględnieniem chwilowego stanu psychofizycznego, intonacji zdaniowej i siły wydechu. Zmiany chwilowych wartości F_0 ukazuje rycina 3. Przebieg linii



Ryc. 1. Wypowiedź oznajmująca spokojnego mężczyzny. F_0 średnie 144, min. 105, maks. 185
Fig. 1. Indicative utterance of composed male. Mean F_0 144 min. 105, max 185



Ryc. 2. Wypowiedź pytająca pobudzonego mężczyzny. F_0 średnie 190, min. 143, maks. 258
Fig. 2. Interrogative utterance of excited male. Mean F_0 190, min. F_0 143, max. F_0 258

Tabela 1

Zmiany wysokości tonu krtaniowego tego samego spokojnego mężczyzny, zmierzonej w sześciu 20-sekundowych próbkach

Fluctuations of laryngeal pitch of the same composed male, measured in six 20-second samples

Nr próbki	F ₀ średnie
1	154
2	143
3	152
4	155
5	139
6	149

intonacyjnych jest typowy dla wypowiedzi oznajmującej, gdzie ciśnienie podgłośnie jest największe na początku zdania (w zdaniu pytającym F₀ jest najwyższe zazwyczaj w końcowej części wypowiedzi).

Pomiar częstotliwości tonu krtaniowego

Metodyka pomiaru F₀ przez ekspertów fonoskopii ulegała modyfikacjom wraz z dokonującym się postępem w dziedzinie obróbki dźwięku. Zasadniczo wyróżnić należy dwie techniki:

- ręczną,
- automatyczną.

● Pomiar ręczny

Jest to starsza metoda pomiaru F₀. Wyznaczenia wartości parametru dokonuje bezpośrednio ekspert, a wymogiem technicznym jest uzyskanie widma sygnału mowy (na monitorze sonografu bądź na wydrukowanym sonogramie). Na widmie są wyliczane (w przedziale częstotliwości, ale w tym samym czasie) położenia składowych harmoniczných sy-

gnału [3] i na tej podstawie jest wyznaczana chwilowa wartość F₀. Przy pomiarze ręcznym uzyskuje się dokładność rzędu 1 Hz, wystarczającą dla badań identyfikacyjnych.

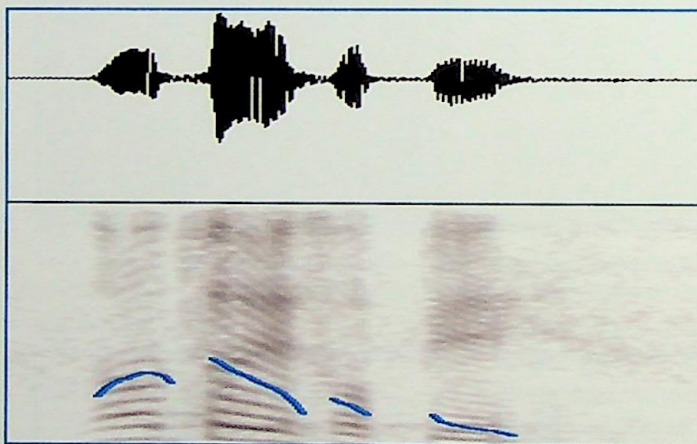
Zaletą tej metody jest dobór próbek oparty na szczegółowej obserwacji widma. Część wypowiedzi jest odrzucana, gdy w jej obrazie spektrograficznym nie można przekonująco wyznaczyć składowych harmoniczných. Wówczas ekspert dokonuje pomiaru na innych głoskach.

Wadą pomiaru ręcznego jest wręcz niebywała czasochłonność. Wyznaczenie średniej wartości F₀ dla długiej wypowiedzi wymaga przeprowadzenia wielu pomiarów wartości chwilowych, z uwzględnieniem wpływu poszczególnych czynników

negatywnego dla wyznaczania F₀. Szybkość analiz jest ograniczona głównie możliwościami komputera, a precyzję pomiaru wyznacza algorytm jednego z wielu dostępnych programów do wyliczania wysokości tonu krtaniowego (nawet do tysięcznych herca, co wobec chwiejności F₀ znacznie przekracza potrzeby analizy kryminalistycznej).

Uzyskanie wiarygodnych wyników wymaga odpowiedniej jakości badanej próbki. Komputer przebieży każdą wprowadzoną wypowiedź, dlatego właściwy dobór próbek wymaga zaangażowania eksperta, wykorzystującego ocenę audytywną i instrumentalną. Analiza audytywna pozwala na ogólną ocenę materiału i określenie czynników wpływających na chwilową

wartość F₀. Analiza, a także obróbka instrumentalna prowadzi do wyeliminowania z próbek wszystkich niekorzystnych zdarzeń akustycznych. Negatywny wpływ na wynik mają niskie parametry nagrania, więc w próbce nie mogą występować zakłócenia impulsowe, fragmenty wypowiedzi innych osób, muzyka itp.



Ryc. 3. Wpływ intonacji na chwilową wartość F₀. Wartość śred. 170, min. 108, maks. 232

Fig. 3. Effect of intonation on temporary F₀ value. Mean value – 170, min. 108, max. 232

(zwłaszcza intonacji) na zmianę wysokości tonu krtaniowego.

Ostatnio w praktyce fonoskopijnej dokonuje się proces marginalizacji stosowania pomiaru ręcznego, wypieranego przez mniej czasochłonną technikę automatyczną.

● Pomiar automatyczny

Zastosowanie pomiaru automatycznego wpłynęło na zdecydowane zmniejszenie nakładu pracy niezbęd-

(tab. 2). Niektóre programy podają zgodną z rzeczywistością wartość F₀, gdy odstęp sygnał-zakłócenia w badanej próbce przekracza 20 dB (wysokie wymagania stawiają zwłaszcza programy opracowane do zastosowań klinicznych, gdzie nie występuje problem niskiej jakości nagrania). Dla uśrednienia wyników pomiarów wartości chwilowych istotnym wymogiem technicznym jest czas próbki, nie krótszy niż 20 sekund. Badaną komputerowo próbką może być ciąg fo-

niczny pozbawiony jednolitej wartości semantycznej, np. zlepek sylab wybranych z zakłóconych wypowiedzi tego samego mówcy. Im więcej 20-sekundowych próbek wypowiedzi jednego mówcy zostanie poddanych analizie, tym wynik mniej odzwierciedla chwilowy stan psychofizyczny mówcy, a bardziej wiarygodny staje się wyznaczony przedział zmienności wysokości tonu krtaniowego. Najwłaściwsze dla uchwycenia specyfiki konkretnego mówcy są wartości minimalne i średnie F_0 zmierzone gdy mówca przejawia spokój, bez objawów wzmożenia, zwolnienia napedu, z intonacją obojętną. Próbkę należy odpowiednio przygotować, wpływ obróbki wstępnej na wiarygodność wyniku przedstawia tabela 2.

Tabela 2

**Średnia wysokość tonu krtaniowego
wyliczona komputerowo
w 20-sekundowych próbkach
czterech wypowiedzi, w dwóch
warianciech: próbki poddanej
wstępnemu usunięciu zakłóceń
i nieprzygotowanej do pomiaru**
*Mean pitch of laryngeal tone computer
measured in 20-second samples of four
utterances in two options: sample with
noise removed and raw sample*

Nr próbki	Próbka niezakłócona	Próbka zakłócona
1	135	149
2	135	145
3	132	161
4	140	158

Dysfonia

Krtąń nie zawsze funkcjonuje prawidłowo. Mianem dysfonii określa się wielopostaciowe zaburzenia głosu, dotyczące wszelkich składowych akustycznych (np. częstotliwości, natężenia, barwy) [7]. Dysfonia jest odwrotnością eufonii – głos eufoniczny jest dźwięczny i czysty, ma barwę właściwą dla wieku i płci; artykulacja

jest prawidłowa, staranna. Skrajnym efektem zaburzenia czynności narządu fonacyjnego jest afonia, czyli utrata głosu.

Przyczyny dysfunkcji krtani mogą być następujące:

- wadliwe ukształtowanie anatomiczne (np. asymetria fałdów głosowych),
- zaburzenia czynności (np. upośledzenie precyzji działania mięśni krtani w wyniku porażenia nerwu błędnego; nerwica objawiająca się brakiem koordynacji pracy poszczególnych narządów oddechowych, fonacji i artykulacji to fonastenia),
- szkodliwe warunki bytowania (przebywanie w suchym otoczeniu powoduje wyschnięcie śluzu pokrywającego fałdy głosowe, co z kolei utrudnia drgania fonacyjne; niekorzystnie na krtąń wpływa alkohol i nikotyna),
- przeciążanie narządu (nadużywanie głosu prowadzi do wytworzenia się na wiaźadłach głosowych tzw. guzków śpiewaczych. Zmiany przerostowe m.in. zmniejszają elastyczność wiaźadeł, utrudniają szczelne domknięcie głośni),
- wpływ innych czynników (np. urazy mechaniczne, infekcje) [2, 5, 6].

Najczęstszym objawem zaburzeń pracy krtani (łatwym do zaobserwowania i występującym u mówców w różnym wieku) jest chrypka [1]. Badanie laryngologiczne pozwala wskazać przyczyny tego objawu dysfonii, do których (w kolejności wyznaczonej częstotliwością powodowania chrypki w populacji amerykańskiej) należą:

- ostre lub przewlekłe zapalenie krtani,
- guzki fałdu głosowego,
- polip fałdu głosowego,
- obrzęk Reinkego (np. u palaczy),
- porażenie fałdu głosowego,
- nadużywanie głosu,
- zaburzenia psychogenne,

- wady wrodzone,
- nowotwór krtani,
- ciało obce,
- choroby neurologiczne [1].

W diagnozowaniu dysfonii stosowane są specjalistyczne metody. Laryngolog rozpoczyna badanie od wywiadu, w trakcie którego wypytuje pacjenta o zdarzenia poprzedzające wystąpienie chrypki. Jednocześnie wsłuchuje się w głos pacjenta, audytywnie oceniając skalę zjawiska. Następnie może zastosować jedną z technik obserwacji wiaźadeł głosowych, np. laryngoskopię (obserwacja krtani za pomocą lusterka), endoskopię (wykorzystującą sondę wprowadzaną do narządu), stroboskopię (aparat oświetla wiaźadła głosowe krótkimi błyskami, co pozwala obserwować poszczególne stadia wibracji). Bardziej zaawansowane techniki wykorzystują np. tomografię [6, 7].

Na tym tle możliwości diagnostyczne eksperta fonoskopii wypadają co najmniej skromnie. Analiza wypowiedzi dowodowych mówcy nie pozwoli bowiem wskazać przyczyny występowania chrypki. Niemożliwe jest stwierdzenie, czy na dysfonię miał wpływ styl życia, przyczyny organiczne, czynnościowe, czy inne czynniki. Jeżeli materiałem dowodowym są rozmowy z krótkiego okresu, niemożliwe jest ustalenie, czy zaburzenie pracy krtani jest chwilowe i ustępuje samoistnie, czy też wyleczenie wymaga interwencji chirurgicznej. Stwierdzenie w trakcie kryminalistycznej analizy mowy występowania chrypki u mówcy nie może być więc traktowane jako cecha indywidualna, trwale charakteryzująca tę osobę.

Podsumowanie

W wielomilionowej populacji mówców cechują zbliżone wartości tonu krtaniowego. Literatura podaje, że przeciętne ramy tonu krtaniowego dla mężczyzn wynoszą 100–200 Hz, dla kobiet 200–400 Hz [5]. Dlatego czę-

stotliwość podstawowa tonu krtańowego nie należy do głównych wyznaczników indywidualności mówienia. Ma natomiast określoną wartość rozróżniającą. Zgoła odmienny wynik pomiaru tonu krtańowego w przebiegu dwóch zdań wypowiedzianych analogicznie – m.in. w zbliżonym stanie emocjonalnym – pozwala sądzić, że zostały one wypowiedziane przez różnych mówców.

Poparciem identyfikacji/eliminacji mówców musi być ekstrakcja zespołów osobniczych cech i parametrów, gdyż zbieżność wartości tonu krtańowego jest bardzo prawdopodobna. Ale zbieżność pozostałych aspektów mówienia – takich, jak np. sposób formułowania myśli, zasób słownictwa i stosowane formy gramatyczne, pobudliwość na bodźce środowiskowe, zmiany chwilowego stanu emocjonalnego, specyfika rozmieszczenia formantów w widmie mowy – nie jest możliwa.

W procesie rozróżniania mówców głównym problemem jest odpowiednia ilość i wartość merytoryczna materiału dowodowego i porównawczego, od nich bowiem zależy możliwość ekstrakowania indywidualności mowy. Właściwa analiza zjawisk występujących podczas mówienia stanowi podstawę badań fonoskopijnych.

Przeprowadzone rozważania prowadzą do następujących wniosków:

- analiza rozkładu wartości parametru F_0 jest nieodzownym etapem procesu identyfikacji mówców,
- wysokość tonu krtańowego jest wyznaczana w wypowiedziach testowych, które cechuje właściwy sposób mówienia i odpowiednia jakość nagrania,
- chwilowa wysokość tonu krtańowego jest zależna od stanu psychofizycznego mówcy, intonacji wypowiedzi i siły wydechu,
- dla każdego mówcy – pod warunkiem dysponowania obszernym materiałem badawczym –

możliwe jest wyznaczenie osobniczego przedziału zmian F_0 ,

- F_0 jest parametrem grupowym, pomocnym, ale nieprzesądzającym w procesie rozróżniania mówców,
- ekspert fonoskopii może analizować wypowiedzi pod kątem występowania symptomów dysfonii,
- specjalistyczna ocena patologii wytwarzania głosu, w tym przyczyn wystąpienia chrypki, jest domeną lekarzy foniatrów.

**Jacek Rzeszotarski
Aleksander Kowalczyk**

BIBLIOGRAFIA

1. Banfield G., Tandon P., Solomons N.: Hoarse voice: an early symptom of

many conditions, „The Practitioner” 2000, nr 244, s. 267–271.

2. Foniatria kliniczna, [red.] A. Prusze-wicz, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1992.

3. Ozimek E.: Dźwięk i jego percepcja, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Poznań 2002.

4. Sylwanowicz W., Michajlik A., Ramotowski W.: Anatomia i fizjologia człowieka, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1985.

5. Wierzchowska B.: Wymowa polska, Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych, Warszawa 1971.

6. Zaburzenia procesu komunikatywnego, [red.] A. Obrębski, Z. Tarkowski, Wydawnictwo Fundacji „ORATOR”, Lublin 2003.

7. Zawodowe choroby narządu głosu u nauczycieli, Materiały szkoleniowe Instytutu Medycyny Pracy, Łódź 2001.

Biblioteka CLK oferuje do nabycia niektóre Zeszyty Metodyczne

 Wybrane tendencje ruchu determinujące uzewnętrznianie się zjawiska powtarzalności w elementach konstrukcyjnych owali, trzonów oraz niektórych znaków diakrytycznych (ZM 1)	18,–
 Czynniki wpływające na zmiany wymiarowe podeszew (ZM 2)	10,–
 Kształtowanie się osobniczych cech pisma (ZM 3)	18,–
 Podstawy fizjologii węchu, uczenia się i etologii zwierząt (ZM 4)	15,–
 Badania mineralogiczne śladów kryminalistycznych (ZM 6)	10,–
 Badanie polimorfizmu DNA przy użyciu techniki PCR (ZM 7)	10,–
 Pieczęć, pieczęcie i adresy jako przedmiot badań kryminalistycznych (ZM 9)	10,–
 Marek J. Wachowicz: Analiza nieorganiczna w praktyce CLK KGP (ZM 10)	15,–
 Aktualne zagadnienia biologii kryminalistycznej (ZM 15)	16,–
 Wpływ czynników wolicjonalnych i pozawolicjonalnych na obraz podpisu (ZM 18)	13,5,–
 Wybrane zagadnienia dotyczące rekonstrukcji wypadków drogowych (ZM 19)	20,–
 Jerzy Kasprzak: Ślady małżowiny usznej (ZM 20)	16,–
 Aldona Policha, Tadeusz Baran: Wybuchy i ich skutki. Badania kryminalistyczne (ZM 21)	37,–